

## PENGEMBANGAN ALAT KONVERTOR AMMONIUM DARI LIMBAH BAGI PENGELOALAN LIMBAH CAIR RUMAH SAKIT RAMAH LINGKUNGAN

**Karmanto**

Jurusan Pendidikan Kimia Fakultas Sains dan Teknologi UIN Sunan Kalijaga Yogyakarta  
Jl. Marsda Adisucipto Yogyakarta 55281, Telp. (0274) 519739  
Email: karmanto45@gmail.com, karmanto@uin-suka.ac.id

### **Abstrak**

*Telah dilakukan penelitian pengembangan desain alat konverter limbah bagi pengelolaan limbah cair rumah sakit yang ramah lingkungan. Pengembangan alat konverter limbah cair difokuskan bagi kajian penanganan polutan ammonium dalam limbah cair rumah sakit. Sampel limbah cair yang digunakan adalah sampel limbah cair salah satu rumah sakit di DIY. Rangkaian alat konverter limbah tersusun atas tiga rangkaian yakni rangkaian pengubah arus, selektor, dan elektroda yang terpasang pada elektrode holder. Konversi ammonium menjadi gas nitrogen bebas dilakukan dengan metode elektrolisis. Berdasarkan data hasil penelitian rancangan alat konverter limbah cair yang dikembangkan, layak secara teknis dan ekonomi, di mana alat konverter limbah cair memiliki kapabilitas konversi ammonium menjadi gas nitrogen sebesar 16,66 gram ammonium per kWh dengan biaya sekitar Rp.71,25,- per gram ammonium.*

**Kata kunci:** konvertor ammonium, elektrolisis, limbah cair rumah sakit

### **PENDAHULUAN**

Ammonia merupakan gas tidak berwarna yang larut dalam air pada suhu 20°C dalam bentuk  $\text{NH}_4\text{OH}$ . Ammonia merupakan zat yang sangat beracun bagi makhluk air. Pada umumnya limbah cair rumah sakit, mempunyai konsentrasi ammonia hingga 0.8 mg/L. Nilai ini sangat melebihi nilai baku mutu ammonia dalam perairan, yaitu sebesar 0,1 mg/L. Sumber utama ammonia dalam limbah cair rumah sakit dapat berasal dari urin, sisa makanan, deterjen, dan bahan kimia lain yang berasal dari limbah medis.

Di Indonesia, limbah medis merupakan salah satu limbah yang berkontribusi besar terhadap kandungan amoniak di perairan. Banyak rumah sakit di Indonesia yang mengalami kesulitan terkait kontrol ammonia dalam pengelolaan limbah cair yang dihasilkan. Baku mutu parameter kualitas air untuk ammonia yang ditetapkan pemerintah sebesar 0,1 mg/L, namun demikian belum ada satu pun rumah sakit di Indonesia khususnya rumah sakit daerah yang dapat memenuhi nilai baku mutu tersebut. Beberapa metode telah dilakukan untuk menurunkan konsentrasi ammonia dalam sistem pengelolaan limbah cair rumah sakit. Beberapa diantaranya adalah bioremediasi menggunakan bakteri nitrifikasi, teknik serapan zeolit, dan penggunaan kincir air untuk meningkatkan oksigen pelarut dalam air. Namun, teknik tersebut belum efektif dan membutuhkan perawatan yang intensif (Riwayati, 2010).

Pemanfaatan metode elektrolisis menggunakan elektroda inert pada dasarnya mengubah amoniak menjadi gas  $\text{N}_2$  dan gas  $\text{H}_2$ . Gas-gas tersebut merupakan gas-gas yang ramah lingkungan.

Elektrokimia merupakan salah satu cabang ilmu kimia yang melibatkan fenomena perpindahan muatan di dalam larutan. Perpindahan muatan yang terjadi dapat secara homogen di dalam atau secara heterogen pada permukaan elektroda. Reaksi terjadi pada dua jenis elektroda yang dicelupkan pada larutan dalam sebuah sel. Elektroda ini dihubungkan oleh kedua jalur konduktor di dalam larutan (melalui perpindahan ion) sedangkan diluar dihubungkan dengan kabel listrik sehingga muatan dapat dipindahkan. Konfigurasi sel dapat dibuat sedemikian rupa sehingga memungkinkan produk dari reaksi kedua elektroda dapat

dipisahkan. Apabila jumlah perubahan energy bebas kedua elektroda adalah negative, maka akan dihasilkan energy listrik (baterai). Apabila sebaliknya maka harus disuplai energy listrik dari luar agar terjadi reaksi pada elektroda dan konversi senyawa kimia (elektrolisa) (Brett dan Brett, 1993).

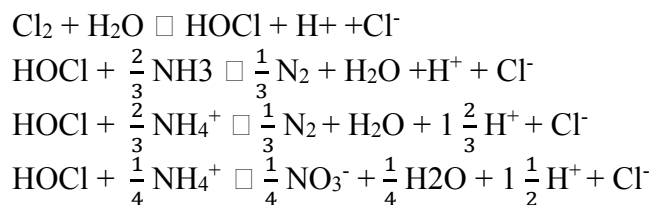
Pengetahuan mengenai proses dan reaksi di elektroda dapat diterapkan pada berbagai macam keperluan, diantaranya:

- Mempelajari sistem-sistem yang kompleks dimana reaksi di elektroda terjadi secara simultan atau berurutan seperti yang terjadi didalam bioelektrokimia.
- Meningkatkan reaksi yang diinginkan atau menghambat reaksi yang tidak diinginkan pada elektroda, misalnya dengan mengganti bahan elektroda dengan bahan elektroda jenis baru yang sedang dikembangkan.
- Mengukur konsentrasi spesies yang bersifat elektroaktif, memanfaatkan selektivitas potensial dan bahan elektroda pada atau diluar kesetimbangan (seperti dalam potensiometri, amperometri, voltametri, dan sensor enzim).

Penerapan elektrokimia dalam kehidupan sehari-hari sangat luas seperti dalam elektroanalisis, potensiometri dan voltametri; industri elektrolisa, elektroplating, baterai, fuel cell serta aplikasi yang berkaitan lainnya termasuk meminimalkan korosi, biosensor dan bioelektrokimia (Zoski, 2007).

Penggunaan NaCl sebagai elektrolit akan meningkatkan proses konversi ammonia. Konsentrasi dari ion  $\text{Cl}^-$  memiliki hubungan linear atau segaris dengan laju degradasi ammonia dalam proses elektrolisis, sama seperti densitas arus (Yan, dkk, 2009). Persentase konversi naik dari 30% menjadi 57% jika menggunakan ion  $\text{Cl}^-$  (Kim, dkk, 2006).

Ion  $\text{Cl}^-$  akan dioksidasi menjadi gas  $\text{Cl}_2$  di anoda. Dalam larutan, gas tersebut akan bereaksi dengan air membentruk asam hipoklorit ( $\text{HOCl}$ ) yang kemudian akan bereaksi lanjut untuk mengubah  $\text{NH}_3$  atau  $\text{NH}_4^+$  sesuai persamaan berikut:



Apabila konsentrasi ammonia tinggi, maka konsentrasi ion  $\text{Cl}^-$  akan meningkat, sehingga konsentrasi asam hipoklorit yang bereaksi dengan ammonia juga akan meningkat (Riwayati, 2010).

Konsentrasi ammonia sisa akan semakin berkurang dengan bertambahnya waktu. Semakin lama waktu elektrolisa maka semakin banyak  $\text{NH}_3$  yang teroksidasi menjadi  $\text{N}_2$  sehingga konsentrasi  $\text{NH}_3$  sisa dalam larutan akan semakin sedikit. Berkurangnya konsentrasi  $\text{NH}_3$  dengan bertambahnya waktu sesuai dengan persamaan laju reaksi oksidasi  $\text{NH}_3$ . Laju oksidasi ammonia digambarkan dalam kinetika *pseudo zero-order*:

$$\frac{-d[\text{NH}_3]}{dt} = k$$

Setelah diintegrasikan persamaan tersebut menjadi:

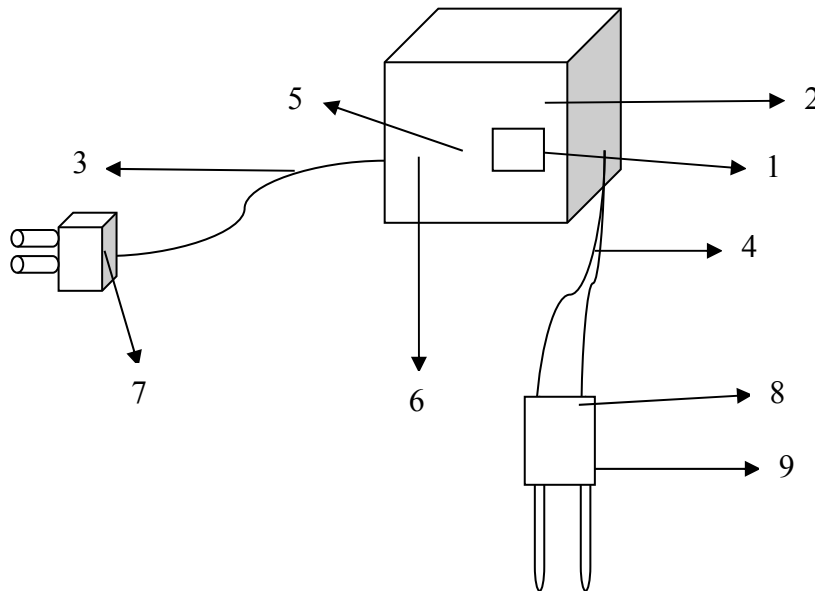
$$[\text{NH}_3] = [\text{NH}_3]_0 - k.t$$

Dari persamaan di atas tampak bahwa konsentrasi  $\text{NH}_3$  akan berkurang dengan semakin besarnya waktu (Retnoningsih, 2010).

## METODE PENELITIAN

### Rancang Bangun Alat konverter limbah

Rancang bangun alat konverter energi limbah akan dilakukan di Laboratorium Fisika Instrumen Laboratorium Terpadu Fakultas Sains dan Teknologi UIN Sunan Kalijaga. Desain alat yang akan dikembangkan ditunjukkan oleh Gambar 1.



Gambar 1. Desain alat konverter energi limbah

keterangan gambar:

- 1) penunjuk arus listrik
- 2) boks rangkaian instrumen
- 3) kabel penghubung sumber listrik PLN dengan rangkaian instrumen
- 4) kabel penghubung sumber listrik dari instrumen ke elektroda
- 5) saklar selektor
- 6) saklar power *on/off*
- 7) steker
- 8) elektroda holder
- 9) elektroda grafit

### Uji kapabilitas oksidasi ammonia

Uji kapabilitas oksidasi ammonia dilakukan dengan mengukur jumlah ammonia yang tersisa dalam larutan setelah dielektrolisis menggunakan alat konverter yang dikembangkan pada berbagai variasi waktu dan arus yang digunakan dalam elektrolisis. Analisis ammonia sisa dalam larutan dilakukan dengan metode titrimetrik menggunakan larutan indikator yang dibuat dari 50 mg methyl red, dan 100 mg bromocresol green dalam 100 ml ethanol. Selanjutnya sampel yang mengandung ammonia di tambahkan indikator tersebut lalu dititrasi dengan menggunakan larutan HCl 0.01 M. Konsentrasi ammonia yang tersisa dihitung dengan rumus:

$$\text{Ammonia (mg/l)} = 140 \times V_t/V_s,$$

dimana  $V_t$  adalah volume titran, sedangkan  $V_s$  adalah volume sampel. Data yang diperoleh berupa grafik kadar ammonia tersisa  $V_s$  waktu/arus.

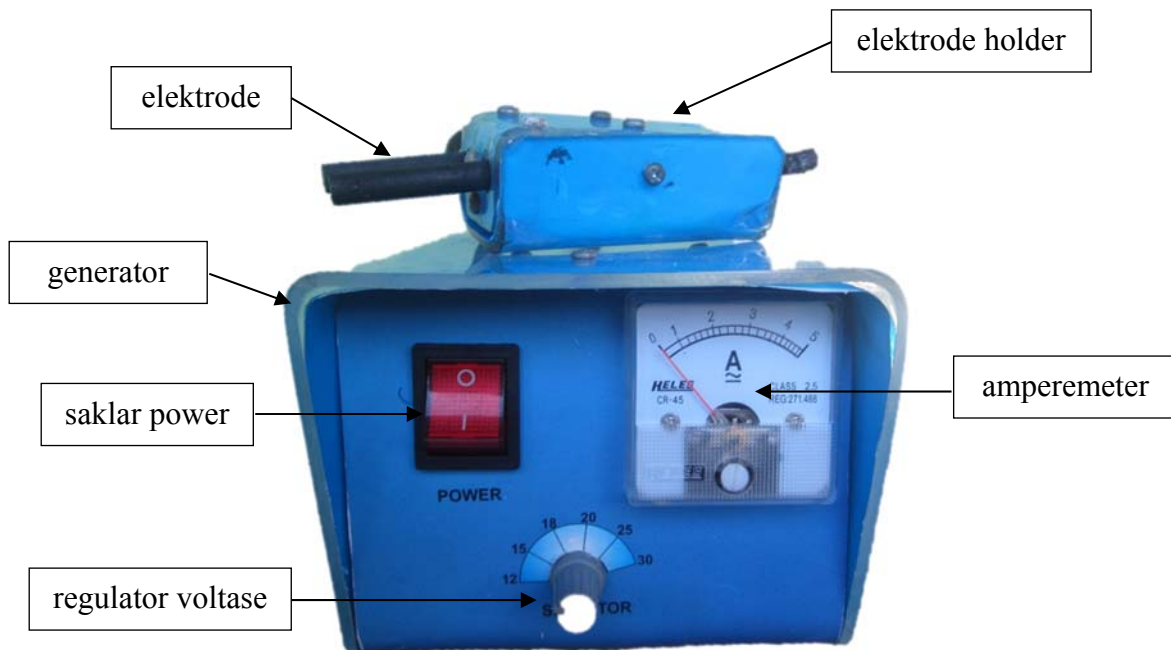
## Uji kelayakan teknis dan ekonomi

Uji kelayakan teknis alat dilakukan dengan mengkaji aspek keamanan, durasi waktu kerja, efektifitas konversi energi, dan reduksi polutan. Sedangkan kajian kelayakan ekonomi dilakukan dengan mengkaji efisiensi energi yang dihasilkan, polutan yang dapat direduksi, serta prakiraan cost biaya operasional, dan pemeliharaan.

## HASIL DAN PEMBAHASAN

### Rancang Bangun Alat konverter limbah

Alat konverter limbah cair rumah sakit yang dikembangkan dalam penelitian ini masih dirancang untuk penanganan limbah dalam skala laboratorium. Rancangan dalam skala laboratorium dilakukan untuk mengkaji parameter yang berpengaruh besar dalam penanganan limbah cair rumah sakit untuk kemudian dilakukan optimasi parameter hipotesis seperti pengaruh waktu dan daya yang digunakan. Desain alat konverter limbah yang telah dibuat ditampilkan pada Gambar 2.

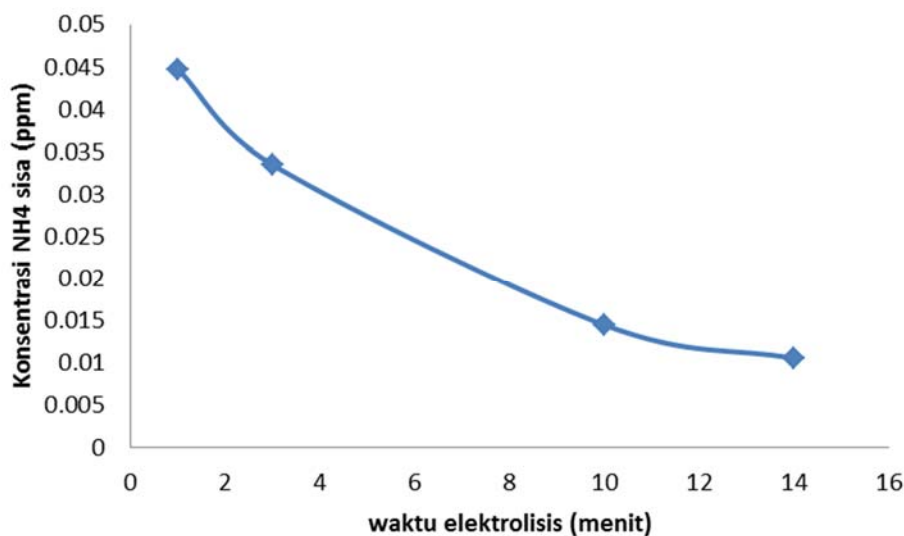


**Gambar 2. Alat konverter limbah cair yang telah dikembangkan**

Alat konverter limbah cair yang dikembangkan dapat dioperasikan dengan daya arus searah pada rentang voltase 12, 15, 18, 20, 25, dan 30 volt. Bahan elektrode holder yang digunakan terbuat dari material acrylic. Elektrode yang terpasang pada elektrode holder sifatnya dapat diganti-ganti sesuai dengan jenis elektroda yang diperlukan. Penanganan limbah cair untuk parameter ammonium elektrode yang digunakan sebagai anoda adalah elektroda dari jenis karbon, sedangkan untuk fosfat digunakan elektroda tembaga sebagai anoda. Pada penelitian ini alat converter limbah cair difokuskan pada pengujian parameter amoniak karena pada umumnya parameter amoniak pada limbah cair rumah sakit adalah parameter kualitas air yang paling sulit ditangani dan senatiasa di atas baku mutu.

### Uji kapabilitas oksidasi ammonia

Uji kapabilitas oksidasi amoniak dilakukan guna mengetahui kemampuan alat dalam mengoksidasi ammonium menjadi gas nitrogen menggunakan sampel latih berupa larutan standar  $\text{NH}_4\text{Cl}$  100 ppm. Dalam uji kapabilitas ini larutan standar  $\text{NH}_4\text{Cl}$  100 ppm, dielektrolisis menggunakan larutan  $\text{NaCl}$  0,1 M pada berbagai variasi waktu dari 1, 3, 10, dan 14 menit. Grafik hubungan konsentrasi ammonium yang tersisa terhadap waktu elektrolisis ditampilkan pada Gambar 3.



Gambar 3. Grafik konsentrasi ammonium sisa vs waktu elektrolisis

Berdasarkan grafik Gambar 2 di atas terlihat bahwa alat konverter limbah cair yang dirancang mampu menurunkan konsentrasi ammonium hingga batas baku mutu yakni 0,01 ppm setelah waktu lebih dari 10 menit pada tegangan 12 volt. Dengan demikian alat konverter limbah cair yang dirancang memiliki potensi kapabilitas untuk digunakan lebih lanjut pada pengujian sampel limbah cair rumah sakit yang sebenarnya.

### Uji kelayakan teknis dan ekonomi

Uji kelayakan teknis terhadap pengoperasian meliputi uji aspek keamanan, durasi waktu kerja, efektifitas konversi energi, dan reduksi polutan. Uji aspek keamanan dilakukan dengan menguji komponen alat terhadap kemungkinan *leak* dan potensi tersengat arus pada pengguna saat alat dioperasikan. Hasil uji menunjukkan tidak adanya muatan listrik pada tabung generator dan elektrode holder yang terbuat dari bahan acrylic. Namun demikian peningkatan temperatur panas terjadi pada sistem larutan dan elektrode kerja akibat durabilitas penggunaan. Semakin besar arus yang digunakan semakin cepat kenaikan temperatur panas yang terjadi baik pada larutan maupun elektrode yang digunakan. Uji durasi waktu kerja juga menunjukkan kemampuan alat konverter limbah cair dalam mengkonversi ammonia menjadi nitrogen relatif lebih cepat daripada proses biologis yang umumnya memerlukan waktu berhari-hari. Daya yang diperlukan untuk mengkonversi ammonium menjadi nitrogen bebas kurang lebih sekitar 0,06 watt per gram amoniak.

Studi kelayakan ekonomi menunjukkan bahwa alat konverter limbah cair yang dikembangkan cukup efisien yakni sekitar 16,66 gram ammonium per kWh. Jika tarif tenaga listrik (TTL) per Nopember 2015 adalah Rp. 1.187.000,- maka biaya penanganan parameter ammonia dalam limbah cair hanya sekitar Rp.71,25,- per gram ammonium. Secara ekonomis hal ini lebih menguntungkan bila dibandingkan dengan metode bioremediasi maupun metode kimiawi lainnya. Di sisi lain waktu treatment yang relatif cepat dalam kisaran menit

menjadikan alat konverter limbah cair ini potensial untuk diaplikasikan bagi penanganan parameter ammonia dalam limbah cair rumah sakit.

## KESIMPULAN

Telah dikembangkan alat konverter limbah cair bagi penanganan ammonia pada limbah cair rumah sakit dengan kapabilitas konversi 16,66 gram ammonium per kWh. Secara teknis alat konverter limbah yang dikembangkan sangat potensial untuk diaplikasikan di lapangan karena sistem pengoperasian yang mudah, aman dan efektif. Secara ekonomi biaya energi yang diperlukan bagi penanganan ammonium dalam limbah cair adalah Rp.71,25,- per gram ammonium.

## UCAPAN TERIMA KASIH

Terima kasih peneliti sampaikan kepada LP2M UIN Sunan Kalijaga yang telah memberikan dukungan finansial dalam skema pembiayaan Hibah Penelitian Kategori HaKI Tahun Anggaran 2015. Ucapan Terima Kasih juga Peneliti sampaikan kepada seluruh Staff laboratorium Terpadu Fakultas Sains dan Teknologi UIN Sunan Kalijaga atas layanan fasilitas penelitian yang diberikan hingga selainya penelitian ini.

## DAFTAR PUSTAKA

- Brett, C. M. A. and Brett, A. M. O., 1993, *Electrochemistry : principles, Methods, and Applications*, Oxford University Press Inc., New York, pp. 326-328
- DaeGun Kim, et al. 2013. *Agro Industrial Wastewater Treatment by Electrolysis Technology*. International Journal Electrochem. Sci., 8 (2013) 9835-9850.
- Kim, K. W., Kim, Y. J., Kim, I. T., Park, G., Lee, E. H., 2006, *Electrochemical Conversion Characteristics of Ammonia to Nitrogen*, *Water Research*, 40, 1431-144.
- Riwayati, Indah dan Ratnawati. 2010. *Penurunan Kandungan Ammonia Dalam Air Dengan Teknik Elektrolisis*. Jurnal Seminar Rekayasa Kimia dan Proses hal 5.
- Retnoningsih, Marta. 2010. *Pengaruh pH, Konsentrasi Awal Ammonia dan Waktu Operasi Pada Elektrolisa Ammonia*. Semarang: Fakultas Teknik Universitas Diponegoro.
- Yan, L., Liang, L., Goel, R., 2009, *Kinetic Study of Electrolytic Ammonia Removal Using Ti/IrO<sub>2</sub> as Anoda Under Different Experimental Conditions*, *Journal of Hazardous Materials*, 161, 1010-1016.
- Zoski, G. C., 2007, *Handbook of Electrochemistry, First edition*, Elsevier, Amsterdam, pp. 08-14